

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA CHEMICKÁ**

**ÚSTAV CHEMIE POTRAVIN A BIOTECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY

# **PEKTIN - JEHO VLASTNOSTI A VYUŽITÍ V PRŮMYSLU**

PECTIN - ITS PROPERTIES AND INDUSTRIAL APPLICATIONS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**EVA ODSTRČILOVÁ**

**VEDOUcí PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. JIŘINA OMELKOVÁ, CSc.**

BRNO 2015



Vysoké učení technické v Brně  
**Fakulta chemická**  
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

## Zadání bakalářské práce

Číslo bakalářské práce:	<b>FCH-BAK0889/2014</b>	Akademický rok: <b>2014/2015</b>
Ústav:	Ústav chemie potravin a biotechnologií	
Student(ka):	<b>Eva Odstrčilová</b>	
Studijní program:	Chemie a technologie potravin (B2901)	
Studijní obor:	Biotechnologie (2810R001)	
Vedoucí práce	<b>doc. Ing. Jiřina Omelková, CSc.</b>	
Konzultanti:		

### Název bakalářské práce:

Pektin - jeho vlastnosti a využití v průmyslu

### Zadání bakalářské práce:

1. Vypracujte literární přehled k dané problematice
2. Popište použité metody hodnocení
3. Zpracujte naměřené výsledky z experimentů
4. Zhodnoťte získané výsledky formou diskuse

### Termín odevzdání bakalářské práce: 22.5.2015

Bakalářská práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu bakalářské práce. Toto zadání je přílohou bakalářské práce.

-----  
Eva Odstrčilová  
Student(ka)

-----  
doc. Ing. Jiřina Omelková, CSc.  
Vedoucí práce

-----  
prof. RNDr. Ivana Márová, CSc.  
Ředitel ústavu

V Brně, dne 30.1.2015

-----  
prof. Ing. Martin Weiter, Ph.D.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá problematikou pektinových látek v potravinářském a farmaceutickém průmyslu. Pektin je hojně využívaná složka potravinářských produktů, převážně díky své želírovací a ztužující schopnosti. Práce je věnovaná buněčné stěně rostlinné buňky, ve které se pektin nachází, včetně dalších materiálových surovin buněčné stěny. Dále je popsána struktura pektinu, včetně jeho výroby a využití v již zmíněném potravinářském a farmaceutickém průmyslu. Poslední část práce je věnovaná enzymatické degradaci surovin rostlinného původu. Pektin je hojně využíván, a přitom stále není jeho struktura a biosyntéza plně prozkoumána.

## **ABSTRACT**

This thesis deals with pectins substances in food processing and pharmaceutical industry. Pectin is very using component in food processing products, mainly due to jelly and thickening ability. The thesis is dedicated plant cell wall, where is located pectin including other material component of plant cell wall. Further it is described structure of pectin, including his production and use in industry. The last part of the thesis is dedicated enzymatic degradation of plants origin materials. Pectin is very using, but its structure and biosynthesis is still not fully explored.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

polysacharidy, enzymová degradace pektinu, pektin

## **KEYWORDS**

polysaccharides, enzymatic degradation of pectin, pectin

ODSTRČILOVÁ, E. *Pektin - jeho vlastnosti a využití v průmyslu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2015. 27 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiřina Omelková, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FCH VUT.

.....

podpis studenta

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji paní doc. Ing. Jiřině Omelkové, CSc. za velkou pomoc s pochopením odborných textů, trpělivost a rady při zpracovávání této práce.

# **OBSAH**

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST</b>	<b>7</b>
<b>2.1</b>	<b>Složení buněčné stěny rostlin</b>	<b>7</b>
2.1.1	Celulosa	8
2.1.2	Hemicelulosa	11
2.1.2.1	Xylan	11
2.1.2.2	Xyloglukan	11
2.1.3	Pektin	11
2.1.4	Lignin	12
<b>2.2</b>	<b>Struktura pektinu</b>	<b>12</b>
2.2.1	Komerční pektiny	14
2.2.1.1	Nízkoesterifikovaný pektin (LMP)	14
2.2.1.2	Vysokoesterifikovaný pektin (HMP)	15
<b>2.3</b>	<b>Výroba</b>	<b>16</b>
2.3.1	Proces I	16
2.3.2	Proces II	17
2.3.3	Proces III	17
<b>2.4</b>	<b>Využití v průmyslu</b>	<b>18</b>
2.4.1	Farmaceutický průmysl	18
2.4.2	Potravinářský průmysl	19
<b>2.5</b>	<b>Enzymy katalyzující štěpení vazeb v polysacharidech buněčné stěny</b>	<b>19</b>
2.5.1	Degradace celulosy	20
2.5.2	Degradace xylanu	20
2.5.3	Degradace xyloglukanu	20
2.5.4	Degradace pektinu	20
2.5.4.1	Macerace	20
2.5.4.2	Ztekucování	20
2.5.4.3	Číření	21
2.5.4.4	Lisování	21
<b>3</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK</b>	<b>27</b>

# 1 ÚVOD

Převládající polysacharid v ovoci a zelenině, hrající důležitou roli v technologických procesech, je pektin. Pro biotechnology je tento polysacharid využitelný pro zpracování ovoce a zeleniny a je velmi důležitý nejen z hlediska výživy, ale i zdraví. Velký význam má jako vláknina, na kterou se vážou těžké kovy. Proto je důležitý při otravě těžkými kovy (olovo, arsen, rtuť).

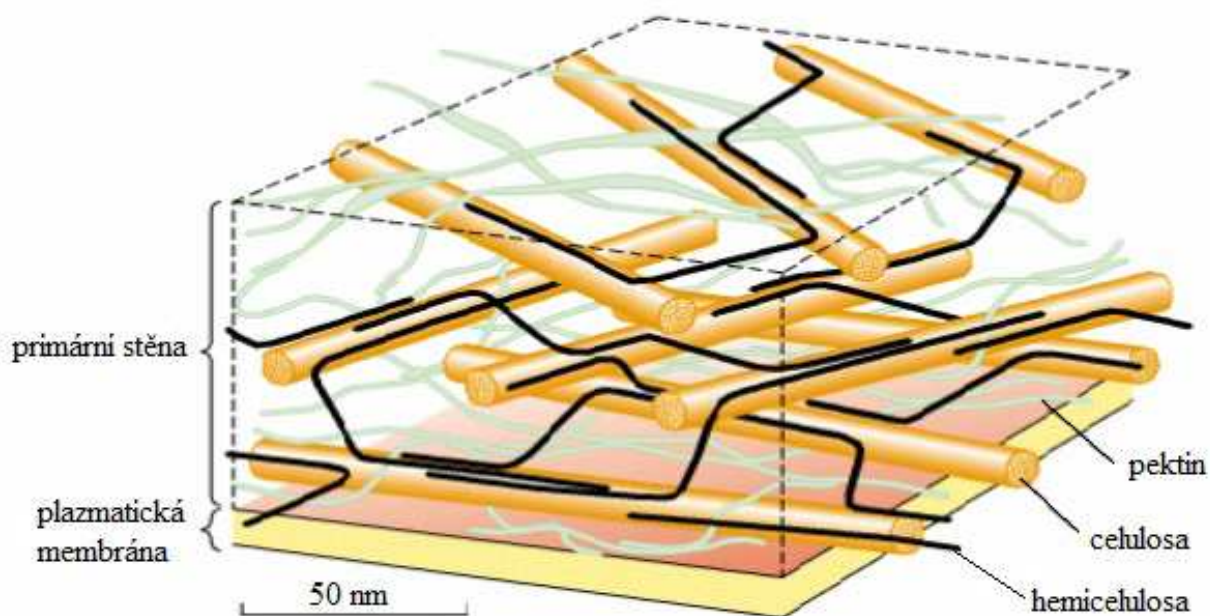
V dnešní době potravinářské podniky, věnující se výrobě biošťáv, žádají technology o co největší využití veškerého materiálu, aby docílili co nejekonomičtějšího růstu. Ať už se jedná o zmenšení odpadů, tak využití co největšího množství suroviny. Po vylisování veškerých šťáv z ovoce zbývá odpad, ze kterého se dá vyrobit pektin, který je hojně využíván k výrobě cukrovinek a zahušťování nejen džemů a marmelád, ale je také přidáván do potravin pod obecně známým označením E440.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

Hlavní složku surovin rostlinného původu představují polysacharidy buněčné stěny, které jsou jedny z nejrozšířenějších organických sloučenin v přírodě. Mezi tyto polysacharidy patří celulóza, hemicelulóza, pektin a lignin. Představují také důležitý zdroj uhlíku využitelný mikroorganismy. Některé působí jako patogeny rostlin, jiné produkují široké spektrum enzymů schopné katalyzovat štěpení vazby v polysacharidech, využívají se proto i v potravinářském průmyslu [1, 2].

### 2.1 Složení buněčné stěny rostlin

Struktura buněčné stěny rostlin vzniká spojením několika celulosových řetězců uspořádaných paralelně a stabilizovaných vodíkovými můstky. Pojivo mezi nimi je tvořeno dalšími polysacharidy s větvenou strukturou, hemicelulosami, které jsou tvořeny různými monosacharidy, jako jsou například D-galaktosa, D-xyloza, L-arabinosa a uronové kyseliny. V základní hmotě primární buněčné stěny jsou obsaženy ještě pektiny a lignin [3]. Složení buněčné stěny je na obrázku 1.



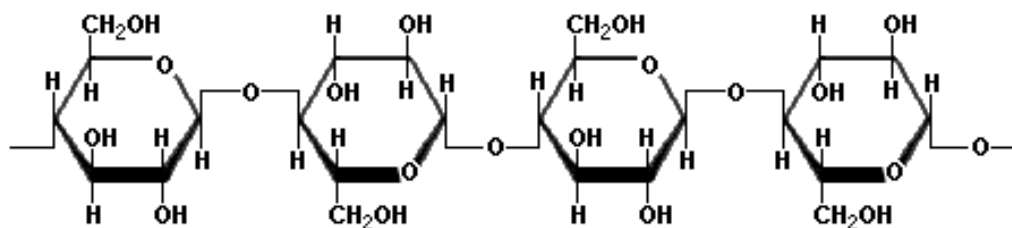
Obrázek 1: Složení rostlinné buněčné stěny [3]

### 2.1.1 Celulosa

Celulosa je organický biopolymer, který je v přírodě široce rozšířený a je hlavní složkou buněčné stěny vyšších rostlin. Je také produkována některými bakteriemi (*Gluconacetobacter xylinum*, *Acanthamoeba castellani*) a řasami [11].

Celulosa je základním materiálem v textilním a papírenském průmyslu. Po zpracování dřeva zůstává poměrně velké množství celulosy, která se využívá jako obnovitelný zdroj pro výrobu bioethanolu, případně dalších uhlíkově neutrálních paliv [12]. Nesmí se zapomenout na její důležitou roli i v potravinářském průmyslu a zemědělství.

V základní struktuře celulosy jsou obsaženy jednotky D-glukosy spojené v nerozvětvené řetězce. Chemická struktura je vyobrazena na obrázku 2. Získává se ze dřeva odstraňováním doprovodných složek, jako je lignin nebo hemicelulosa. Acetáty celulosy se užívají jako výbušniny (střelný prach bez dýmu), pohonné látky pro rakety nebo jako základy pro laky. Pro člověka a většinu obratlovců je celulosa nestavitelná, ale například přežvýkavci mají v trávicím ústrojí mikroorganismy vytvářející enzymy, které celulosu štěpí a mění tedy ve stravitelnou [4].



Obrázek 2: Struktura celulosy [41]

V potravinách tvoří celulosa značný podíl neškrobových polysacharidů. V ovoci a zelenině bývá podle druhu přítomno kolem 1-2 % celulosy, v obilovinách a luštěninách 2-4 % a v otrubách až 30-35 % [1]. Pro přehlednost slouží tabulka 1, ve které je zobrazeno procentuální zastoupení celulosy, hemicelulosy a ligninu.



Tabulka 1: Procentuální zastoupení surovin rostlinné buňky v různých typech zdrojů [13]

Zdroj	Složení [%]			
	Celulosa	Hemicelulosa	Lignin	Výtěžek
Tvrdé dřevo	43 ± 47	25 ± 35	16 ± 24	2 ± 8
Měkké dřevo	40 ± 44	25 ± 29	25 ± 31	1 ± 5
Bagasa <sup>1</sup>	40	30	20	10
Kokosové vlákno	32 ± 43	10 ± 20	43 ± 49	4
Kukuřičný klas	45	35	15	5
Kukuřičný stonek	35	25	35	5
Bavlna	95	2	1	0,4
Len (máčený)	71	21	2	6
Len (nemáčený)	63	12	3	12
Konopí	70	22	6	2
Henequen <sup>2</sup>	78	4 ± 8	13	4
Istle <sup>3</sup>	73	4 ± 8	17	2
Juta	71	14	13	2
Kenaf <sup>4</sup>	36	21	18	2
Ramie <sup>5</sup>	76	17	1	6
Sisal <sup>6</sup>	73	14	11	2
Sunn <sup>7</sup>	80	10	6	3
Pšeničná sláma	30	50	15	5

Jednotky D-glukopyranosy jsou spojeny  $\beta$ -(1→4) glykosidickou vazbou, stupeň polymerace je až 15 000 jednotek. Jak je vidět na obrázku 3, v celulóse se nachází i vodíkové vazby, a to jak mezimolekulární, tak uvnitř každé molekuly. Celková struktura celé sítě vodíkových vazeb je stále zkoumána. Díky intermolekulárním vodíkovým vazbám je stabilizováno uspořádání makromolekul seřazených v rovinném útvaru odpovídající útvaru listu [14].

<sup>1</sup> Pojmem bagasa se označují rozmělněná stébla cukrové třtiny sloužící po vylisování šťávy jako surovina k výrobě buničiny nebo jako palivo.

<sup>2</sup> Přírodní rostlinné listové vlákno z rostliny agave fourcroydes

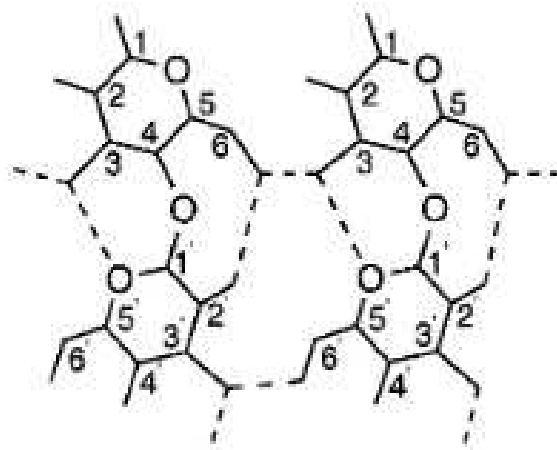
<sup>3</sup> Istle nebo také ixtle je název pro tvrdé rostlinné vlákno získané z mexických rostlin, hlavně z agave a juky.

<sup>4</sup> Rostlinné vlákno získávané z ibišku konopovitého.

<sup>5</sup> Tropická rostlina, jejíž listy se podobají kopřivě.

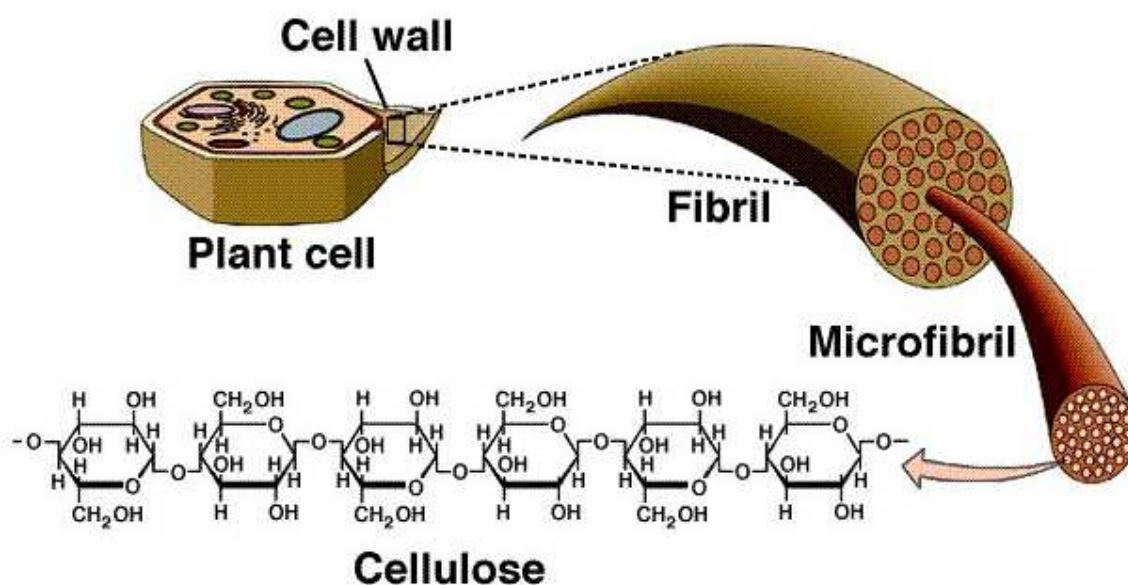
<sup>6</sup> Textilní vlákno získávané z listů agave sisalové.

<sup>7</sup> Vlákna z rostliny chřestnatec sitinovitý.



Obrázek 3: Systém vodíkových vazeb v celuloze [42]

Tato mezimolekulová vodíková vazba mezi hydroxylovými skupinami a atomy kyslíku ze sousední molekuly podporuje paralelní skládání celulosových řetězců tvořících mikrofibrily, které jsou dále shlukovány do makrofibril [15]. Obrázek 4 zobrazuje skládání řetězců do celulosových vláken tvořících buněčnou stěnu.



Obrázek 4: Struktura celulosových vláken [16]

Celulosa je nerozpustná ve zředěných kyselinách, v zásadách a ve většině rozpouštědel. Ta pronikají do přístupnějších oblastí mikrofibril a bobtnají. V prostředí koncentrovaných kyselin dochází k hydrolýze, celulosa se začne rozpouštět a vznikají rozpustné fragmenty s kratším řetězcem až celobiosa a D-glukosa [17].

### 2.1.2 Hemicelulosa

Jedná se o lineární heterogenní polysacharidy, s polymeračním stupněm až 200, lišící se od celulosy nižší relativní molekulovou hmotností a stavbou řetězce. Její chemické složení je u jednotlivých systematických skupin rozdílné, na stavbě se podílí hexosy, pentosy a uronové kyseliny. Hemicelulosa je syntetizována v Golgiho aparátu a je transportována sekrečními vaky k buněčné stěně. Ze dřeva se může extrahovat zředěnými zásadami nebo pomocí hydrolýzy zředěnými kyselinami za zvýšené teploty [18].

#### 2.1.2.1 Xylan

Xylan je hlavní složkou hemicelulosy, tvoří lineární polymer D-xylosových zbytků vazbou  $\beta$ -(1→4) se substituovanými řetězci glukuronové kyseliny, acetylovaných arabinosylových zbytků [5]. Substituce jsou strukturálně rozmanité a liší se podle taxonomie. V buněčné stěně inhibují štěpení vazeb enzymem celulasu a jsou substrátem pro zesíťování na lignin [19].

Xylany tvoří hlavní složku vlákniny v obilovinách a jsou důležitými komponenty ve výživě. Najdeme je v chlebu, ovlivňují výnosy těsta, chuť a trvanlivost. Jejich význam je i v celulosových biopalivech, která jsou v současné době drahá, ale neustále předmětem zkoumání [19].

#### 2.1.2.2 Xyloglukan

Jedná se o polysacharid nacházející se ve všech buněčných stěnách vyšších rostlin, skládá se z 300 – 3 000  $\beta$ -(1→4) vázaných jednotek D-glukosy. Postranní řetězce jsou tvořené D-xylopyranosovými jednotkami připojenými na šestém uhlíku D-glukosy hlavního řetězce. Jediný xyloglukan, mající použití v potravinářském průmyslu, je tamarindová guma. Ta se nachází v endospermu semen lusků stromu tamarind východní, který roste v tropických oblastech. Hlavní využití je v textilním průmyslu, ale využívá se i v potravinářství jako zahušťovadlo a stabilizátor pěn [1], [20].

### 2.1.3 Pektin

Pektiny jsou skupinou polydispersních polysacharidů rostlinného původu, nacházející se v pletivech, především v ovoci a zelenině, a to ve střední lamelle a primární stěně. Vznikají a ukládají se převážně v brzkých stádiích růstu, jejich množství se snižuje v době zrání. Také skladování a zpracování rostlinného materiálu má vliv na jeho množství, což se může projevit změnou textury [1, 6].

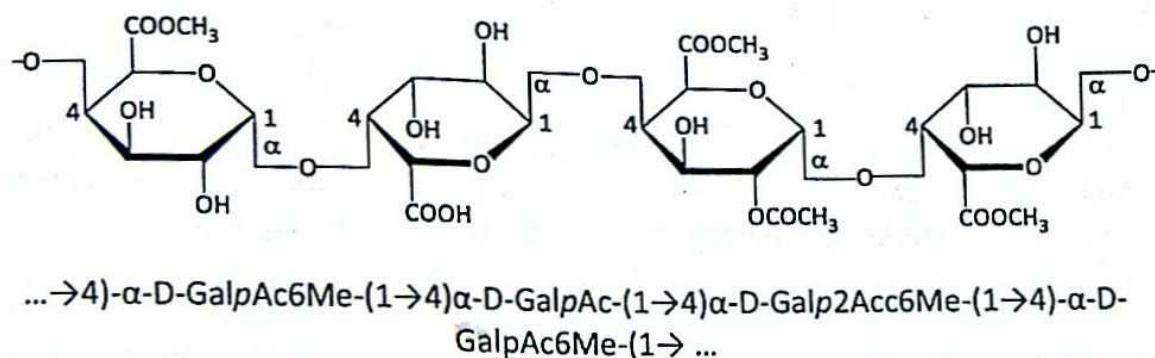
Pektinové látky zajišťují výměnu vody a soli a vykazují gelovatění. Jsou velice důležitou složkou výživy a mají široké spektrum fyziologické aktivity. Struktura závisí na mnoha faktorech a může v průběhu růstu a vývoje značně měnit rostliny [21].

### 2.1.4 Lignin

Je to jedna z hlavních aromatických polymerních složek dřevní hmoty tvořící asi 25 % biomasy. Na rozdíl od celulosy nebo hemicelulosy se jedná o beztvárovou, neboli amorfní, látku. Její funkcí je spojit všechny složky buněčné stěny. Také slouží jako ochrana před patogenní mikrobiální degradací [22]. V menším množství nalezneme lignin ve vláknině ovoce, zeleniny i v obilovinách [7]. Lignin není odolný vůči zásaditým látkám, čehož se využívá při tvarování dřeva ve dřevařském průmyslu. Biodegradace ligninu je zajišťována třemi typy enzymů – ligninperoxidasou, peroxidasou a lakasou [8].

## 2.2 Struktura pektinu

Pektiny obsahují směs heterogenních rozvětvených a vysoce hydratovaných polysacharidů. Základní lineární řetězec je tvořen asi 25 – 100 jednotkami D-galakturonové kyseliny, která je spojena vazbou  $\alpha$ -(1→4). Samotné jednotky galakturonové kyseliny jsou ukončeny jednotkou L-rhamnopyranosy vázané  $\alpha$ -(1→2) glykosidickou vazbou. Obsah rhamnosy bývá obvykle 1 – 4 %, tyto úseky polysacharidů se nazývají rhamnogalakturonany. Řetězec galakturonových kyselin bývá esterifikován do různých stupňů metanolem, průměrně okolo 70 %, nebo acetylován, a to v poloze C-2 nebo C-3 [1, 23]. Chemickou strukturu, včetně části pojmenování dané sekvence, zobrazuje obrázek 5.



Obrázek 5: Struktura pektinu [23]

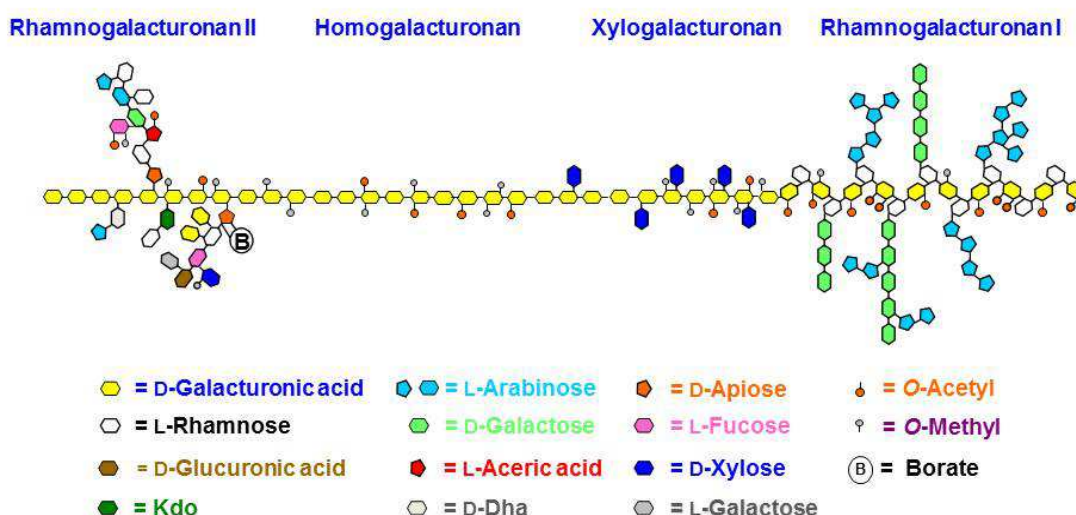
Volné karboxylové skupiny jsou často neutralizovány a vyskytují se ve formě solí. Molekula pektinu je tvořena 300 – 1000 různými monosacharidovými jednotkami o molekulové hmotnosti v rozsahu 50 – 150 kDa [23].

Lineární řetězce pektinu bývají substituovány glykosidickou vazbou (1→2)  $\alpha$ -L-rhamnopyranosou, tyto typy polysacharidů se nazývají rhamnogalakturonany. Rhamnosa se v pektinech vyskytuje v 1 – 4 %. Ve větvených postranních řetězcích se běžně vyskytuje L-arabinsa a D-galaktosa, mající strukturu arabinanů a arabinogalaktanů různých typů. Tyto dále nesubstituované jednotky tvoří tzv. „hairy and smooth regions“, což se dá přeložit jako vlasové oblasti molekul, neboť mají vzhled hladkých úseků a jsou vazebnými zónami [43].

Na obrázku 6 je vidět, že rozvětvená oblast pektinu se skládá ze tří podjednotek: rhamnogalakturonan-I (RG-I), rhamnogalakturonan-II (RG-II) a xylogalakturonan. Vyskytují se ve struktuře v různých poměrech, záleží na původu pektinu [23].

RG-I sekvence pektinu se skládá z hlavní struktury 1,4-kyseliny galakturonové, která je ukončena glykosidovou vazbou typu  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 2) na  $\alpha$ -L-rhamnopyranosovou jednotku [1]. Na tomto hlavním řetězci jsou připojeny jednotky galaktosy, arabinosy a rhamnosy vázané vazbou (1 $\rightarrow$ 2). Oproti tomu RG-II je pouze minoritní složkou primárních buněčných stěn a vyznačuje se velmi složitou strukturou. Z obrázku je patrné, o jak komplikovanou stavbu se jedná, vyskytují se monosacharidy jako kyselina galakturonová, galaktosa, arabinosa, xylosa, glukosa, manosa a další. RG-II frakce je také odolná vůči enzymu  $\alpha$ -1,4-endo-polygalakturonase [21].

## Schematic structure of pectin



Obrázek 6: Schematická struktura pektinu [40]

Pektinové látky jsou složité struktury obsahující malá množství ferulové kyseliny esterově vázané na neutrální cukry a dělí se do skupin podle rozpustnosti na [23]:

### Rozpustné pektiny:

- *Pektinové kyseliny* – Patří do skupiny rozpustných pektinů. Jsou to polygalakturonáty s větším množstvím methylových skupin. Soli pektinových kyselin se nazývají pektinany a jsou lépe rozpustné než volné kyseliny. Enzymy katalyzující štěpení pektinových kyselin jsou lyázy.

- *Pekťové kyseliny* – Neesterifikované polygalakturonáty tvořící soli pektátů. Enzymy působící na tyto látky se nazývají hydrolázy.
- *Doprovodné neutrální polysacharidy* – například arabinany a arabinogalaktany různých struktur.

## Nerozpustné pektiny

- *Protopektiny* – Nativní pektiny buněčných stěn asociované s celulosou. Společně s hemicelulosou tvoří páteř buněčné stěny. Hydrolýzou enzymu zvaného protopektináza se přeměňují na rozpustné nízkomolekulární pektinové látky.

### 2.2.1 Komerční pektiny

Hlavní využití komerčních pektinů je v potravinářském průmyslu, neboť mají vlastnosti pro tvorbu gelu. Využívají se jako stabilizátory, zahušťovadla a lepidla. V souladu s evropskými pravidly musí pektiny, určené k potravinářskému využití, obsahovat více než 65 % galakturonové kyseliny vztažené na suchou hmotnost vzorku. Samotná schopnost tvořit gel závisí na stupni esterifikace metanolem a důležitou roli má i sacharosa stabilizující strukturu tvorby gelu. Rozlišujeme vysokoesterifikované a nízkoesterifikované pektiny lišící se v odlišných vlastnostech [21], viz tabulka 2.

Interakce proteinů a peptidů s pektiny vede k tvorbě rozpustných a nerozpustných komplexů, jejichž struktury jsou závislé na poměru biomolekul a pH. Kovalentní vazby mezi tyrosinovými zbytky proteinů a karboxylovými skupinami na pektinu vedou k vytváření sítí. Jedna z hypotéz tvrdí, že proteiny tvoří s pektiny iontové komplexy [21].

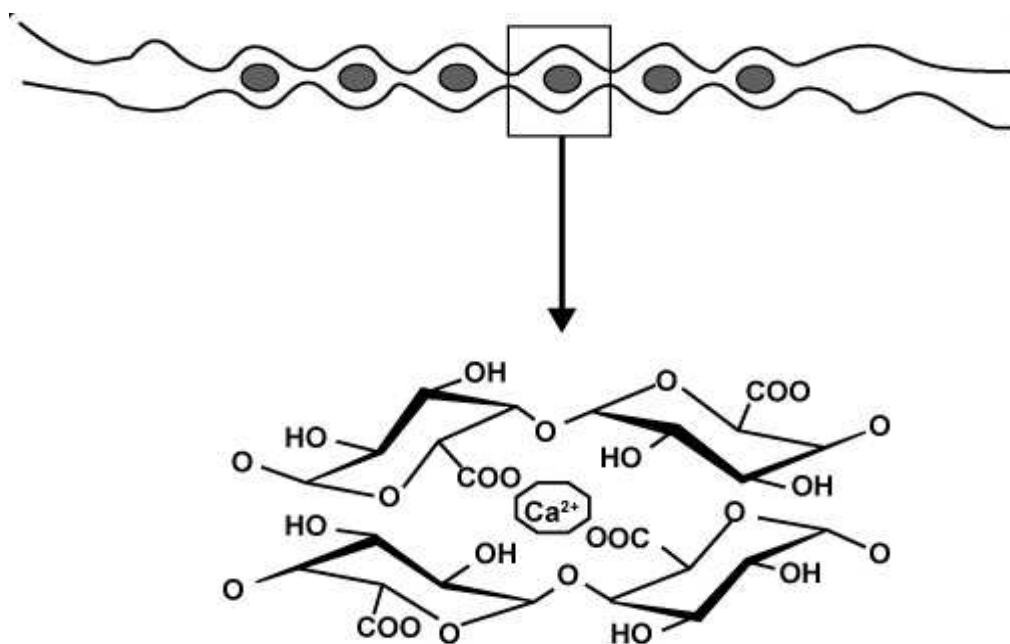
Tabulka 2: Obsah galakturonové kyseliny a stupně metylace a acetylce pektinu různého původu [1]

Zdroj pektinu	Galakturonová kyselina [%]	Stupeň metylace [%]	Stupeň acetylce [%]
Meruňky	64	57	8
Broskve	90	79	4
Hrozny	63	69	2
Mrkev	61	63	13
Brambory	40	53	15
Cukrová řepa	65	62	35

#### 2.2.1.1 Nízkoesterifikovaný pektin (LMP)

Pektiny patřící do skupiny LMP jsou ty, které mají esterifikovány karboxylové skupiny z méně než 50 % (v průměru 20 – 40 %). Produkce gelu je nezávislá na obsahu cukru. Nízkoesterifikované pektiny nejsou citlivé na pH, ale pro správné gelovatění je potřeba přítomnost vápenatých, nebo jiných dvoumocných, kationtů [24]. Schopnost tvořit gely se zvyšuje se snižujícím se stupněm metylace. Přítomnost acetylových skupin sice zabraňuje tvorbě gelu s vápenatými ionty, ale dodává emulzi pektinu stabilizující vlastnosti [25].

Vytvořený gel má strukturu trojrozměrné sítě, ve které jsou řetězce k sobě vázány přes karboxylové skupiny pomocí vápenatých iontů. Pro přesnější vysvětlení byl sestaven tzv. „egg-box model“, který je ukázán na obrázku 7. Tento model je složen ze dvou sousedících molekul pektinu připojených k sobě elektrostatickými silami a iontovými vazbami [26]. K vytvoření správné vazebné zóny je potřeba minimálně sedm po sobě jdoucích volných karboxylových skupin uvnitř řetězce. Ovšem prostorové uspořádání pektinu nedovoluje spojení s vápenatým kationtem každé karboxylové skupiny, pouze s každou druhou. Čím je vyšší koncentrace  $\text{Ca}^{2+}$  iontů, tím má vzniklý gel vyšší tuhost, ale v nadbytku dochází ke křehnutí nízkoesterifikovaného pektinu [27].



Obrázek 7: "Egg-box" model nízkoesterifikovaného pektinu [44]

Jednou z hlavních vlastností LMP je termoreverzibilita a menší citlivost na pH, která se využívá ve výrobcích, jak s kyselým, tak neutrálním prostředím, například u nekysaných mléčných výrobků [28].

### 2.2.1.2 Vysokoesterifikovaný pektin (HMP)

Patří sem pektiny, které jsou esterifikovány z 60 – 70 %. Aby se vytvořil gel, je ideální pH okolo 3. Jejich vlastnost je, že jsou tepelně reverzibilní a jsou rozpustné v horké vodě a často obsahují disperzní činidlo, jako je dextrosa, které zabraňuje hrudkování. HMP tedy vytváří gely s cukrem a kyselinou [24]. Tvorba gelu je způsobena částečnou disociací karboxylové skupiny, pektin se začne rozpouštět v důsledku negativního náboje molekul a jejich vzájemného odpuzování. Vlastnost molekul pektinu vázat vodu vede ke vzniku vodíkových vazeb mezi volnými karboxylovými skupinami a hydroxylovými skupinami na sousedních molekulách. Pro tvorbu gelu je důležité, aby vznikly vazby polymer-polymer a nikoli polymer-voda. To zajišťuje přidání sacharidů, které snižují aktivitu vody. Čím je přítomno

více sacharidů, tím je větší tuhost gelu a vzrůstá i rychlost tuhnutí. Hydrofobní interakce mezi metylestery je stabilizovaná trojrozměrnou sítí gelu [29, 30, 31].

HMP nejčastěji slouží jako stabilizátory při disperzi proteinů, jejich využití je proto ideální u produktů se sníženým pH jako jsou jogurty a kysané mléčné nápoje [32].

## 2.3 Výroba

Výroba pektinu je v dnešní době důležitým procesem. V potravinářském průmyslu se objevuje čím dál více odpadu z ovoce či zeleniny a výroba pektinu je jedním z příznivých podmínek, jak se vedlejších produktů optimálně zbavit. Vědci v posledních letech zkoumají, jak lze pektin získat například z kakaových slupek. Snaží se přijít na optimální podmínky a zkvalitnit získaný materiál [33]. V tabulce 3 je zobrazeno procentuální zastoupení pektinu v různých druzích ovoce a zeleniny.

Tabulka 3: Obsah pektinu v čerstvém ovoci a zelenině [1]

Zdroj	Pektin [%]
Jablka	0,5-1,6
Hrušky	0,4-1,3
Broskve	0,1-0,9
Jahody	0,6-0,7
Mrkev	0,2-0,5
Fazole	0,5
Cibule	0,5

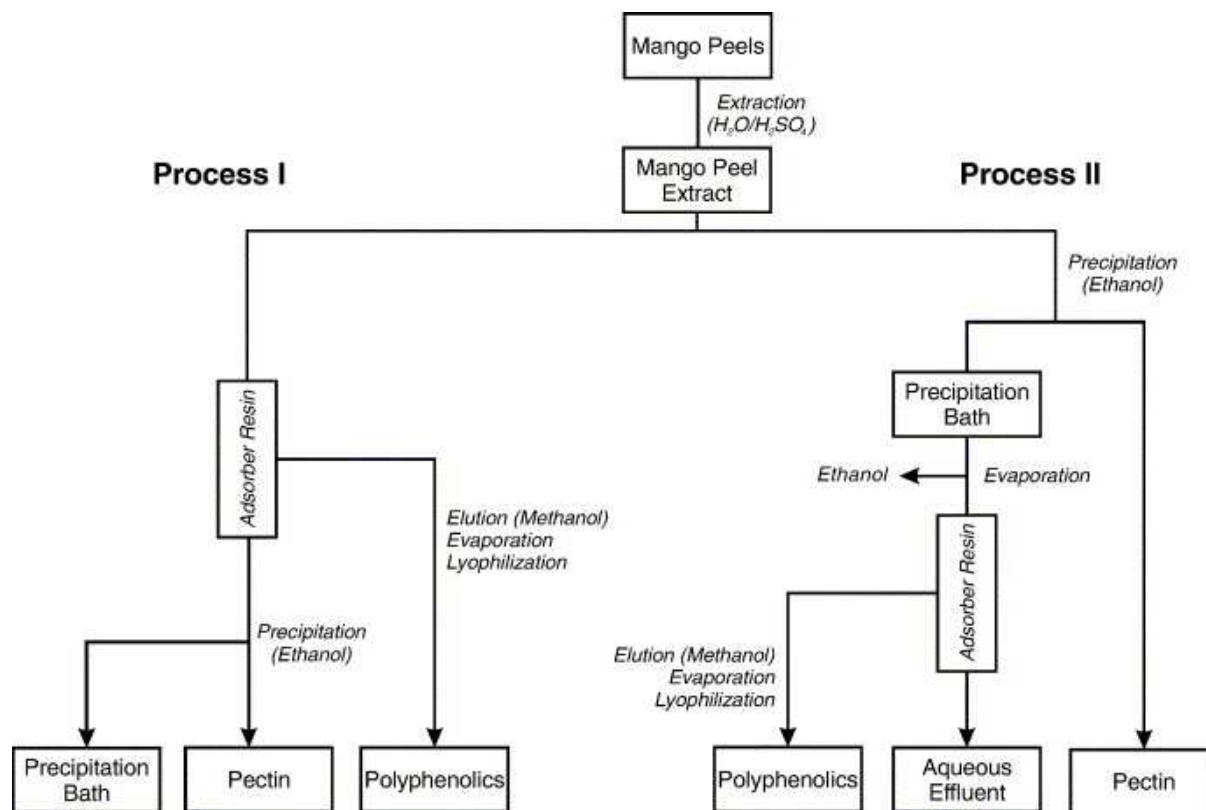
Metody používající se k získání pektinu ze surové plodiny jsou převážně extrakce kyselinami s následným vysrážením etanolem. Jsou dva osvědčené typy k získání suroviny. První proces je vhodnější pro vysokoesterifikované pektiny, které mají vysoký stupeň esterifikace (okolo 70 %). Nevýhodou tohoto procesu je získání směsi více látek, nikoli pouze pektinu, proto je pak nutné přečištění k získání daného materiálu [24]. Druhý typ je vhodnější pro nízkoesterifikované pektiny, neboť ty nejsou tolik citlivé na pH. Druhým typem extrakce se získá samotný čistý pektin, jedná se tedy o jednodušší metodu. Model obou procesů je vyobrazen na obrázku 8. Ve stádiu výzkumu jsou i další způsoby získání rostlinného materiálu, aby vyizolovaný produkt dosáhl co největší čistoty. Jedna z těchto novějších metod je využití mikrovlnného ohřevu [35]. Tato metoda je popsána v další podkapitole.

### 2.3.1 Proces I

Odpad z výroby, nejčastěji slupky ovoce, se zbaví vody vysušením [34]. Vzniklá sušina zbavená vody se rozdrtí na co nejmenší části a drť se smíchá s neionizovanou vodou. Následně je směs zahřívána k varu a pak ochlazena. Důležitým krokem je úprava pH do kyselého prostředí, nejlépe na hodnotu asi 2 koncentrovanou kyselinou sírovou. Po následné



redukci objemu roztoku se provede filtrace zahuštěné směsi a vyextrahované pektinové látky se nachází ve filtrátu [24, 34].



Obrázek 8: Dvojí typ extrakce pektinu z biologického materiálu (manga) [34]

### 2.3.2 Proces II

Druhá metoda, která je vhodnější pro LMP, jak již bylo zmíněno, vede k získání samotného pektinu, který se nemusí dále přечиšťovat od doprovodných látek. Slupky z ovoce se extrahují přímo v etanolu. Etanol na sebe váže vodu a tím vysráží pektin z roztoku. Sraženina, obsahující žádanou látku, se už jen odfiltruje pomocí filtrační plachetky a nakonec se lyofilizuje [34].

### 2.3.3 Proces III

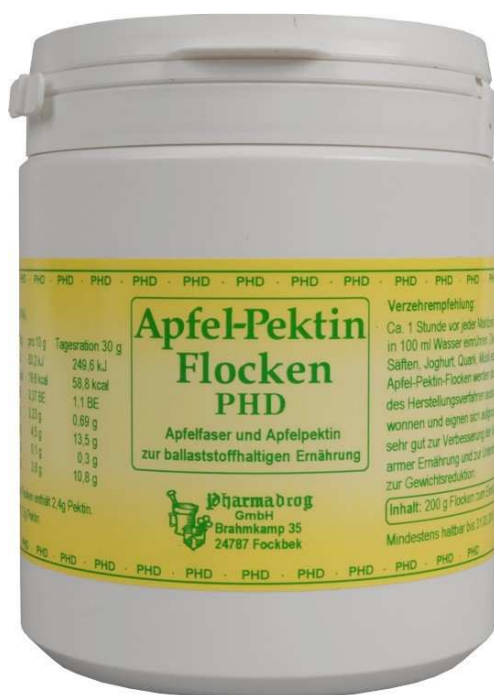
V roce 2004 zkoumal tým Kratchanové [35] vliv mikrovlnného vlnění na ovoce a následně i na pektin obsažený ve slupce. Došlo se k závěru, že mikrovlnný ohřev vede k destrukci parenchymatických buněk a endogenních enzymů slupky, čímž se usnadnil přístup k pektinovým látkám. Tento způsob extrakce vede ke zvýšení výtěžku a jeho kvality. Extrakce mikrovlnami způsobí inaktivaci pektinmethylesterasy a to vede ke zvýšení výtěžnosti pektinu z materiálu. Pektiny pak mají vyšší stupeň esterifikace, tedy i vyšší molekulovou hmotnost a pevnost gelu.

## 2.4 Využití v průmyslu

### 2.4.1 Farmaceutický průmysl

Pektin má velké využití ve farmaceutickém průmyslu, neboť jeho účinek je v ovlivňování hladiny cholesterolu v krvi. V roce 2001 byla tato vlastnost přezkoumána a došlo se k závěru, že denní dávka minimálně šesti gramů pektinu má významný vliv na snížení cholesterolu. Výzkum vycházel z poznatků Mientinnena a Tarplia, z roku 1977 [37], kdy se podával při léčbě pacientům pektinový přípravek, a bylo uváděno snížení cholesterolu o 13 % během dvou týdenní léčby.

Pektin také působí jako přírodní profylaktické látky proti otravě jedovatými kationty. Bylo prokázáno, roku 1982 [38], že je účinný v odstranění olova a rtuti z gastrointestinálního traktu a dýchacích orgánů. Také snižuje rychlost trávení ve střevech, což má za následek menší vstřebávání potravy a toho se využívá v léčbě poruch souvisejících s přejídáním (obrázek 9) [24]. Účinky pektinu jsou také využívány proti zácpě, najdeme ho i v anti-průjmových přípravcích. Adsorbuje přebytek vody a tím pomáhá trávicímu ústrojí [25].



Obrázek 9: Vločky jablečného pektinu [46]

V posledních letech se pektin začal využívat jako prebiotikum. Homogalakturonany jsou fermentovány v tlustém střevě za vytvoření mastné kyseliny. Ty jsou přepravovány do jater, kde podstoupí následnému metabolismu. Mastné kyseliny, které nejsou metabolizovány v játrech, jsou distribuovány do různých tkání v těle. Mnohé střevní bakterie využívají metabolizujícího pektinu ke svému růstu a podpoře trávicí mikroflóry. A jelikož se pektin, prakticky nedotčený, dopraví do střev, používá se jako nosič tablet s léčivými látkami, které mají cílené místo účinku [25].

Modifikovaný citrusový pektin se podával orálně krysám s rakovinou prostaty, a bylo zjištěno, že inhibuje metastáze melanomových buněk. Mechanismus těchto antikarcinogenních účinků není zatím znám [39].

#### **2.4.2 Potravinářský průmysl**

Interakcí pektinů s želatinou se využívá hlavně u cukrářských produktů. Nutná dávka želatiny je 7 – 10 %, aby konzistence byla správně tuhá. Další potravinářskou pochutinou je želé, které je vyrobené kombinací pektinu a škrobu [25].

Jako klasické gelovací činidlo se používá agar, který cukrovinky provzdušní. Typickým produktem je marshmallow (obrázek 10), který je vyrobený spojením pektinu s agarem [25].

Jelikož pektin pochází z buněčné stěny rostlinných buněk, bývá součástí vlákniny. Obsah vlákniny v ovoci, které je na pektin nejbohatší, je v rozsahu 1 – 2 %. Pro zvýšení denních potravin, je výhodné pektin přidávat, například, do pekařských výrobků. Studie ukázaly, že mouka s citrusovými vlákny nebo jablečnými vločkami má pozitivní smyslové účinky [39].

Nejběžnější využití pektinů v potravinářském průmyslu je stabilizátor a zahušťovadlo v džemech a mléčných výrobcích, jako jsou jogurtové nápoje, ovocné nápoje a zmrzlina [36].



*Obrázek 10: Marshmallow, spojení pektinu s agarem [45]*

### **2.5 Enzymy katalyzující štěpení vazeb v polysacharidech buněčné stěny**

Degradace buněčné stěny má hlavní význam v koloběhu uhlíku. Polysacharidové složky jsou degradovány pomocí enzymů na oligosacharidy, popřípadě dále až na glukosu, pentosu či jiné menší uhlíkaté sloučeniny metabolizující na oxid uhličitý [9].

### **2.5.1 Degradace celulosy**

Degradace probíhá pomocí tří druhů enzymů, a to endoglukanasy (malé proteiny aktivující hlavně amorfni oblasti celulosy), exoglukanasy (uvolňují cellobiosu z konce řetězce celulosy) a  $\beta$ -glukosidasy [2].

### **2.5.2 Degradace xylanu**

Biodegradace xylanu vyžaduje širokou škálu enzymů, které mohou být rozděleny na enzymy působící na xylanovou síť (endoxylanasy) a na enzymy působící na boční řetězce [10].

### **2.5.3 Degradace xyloglukanu**

Základní řetězec xyloglukanu je velice podobný celulose a při degradaci jsou využívány dva typy celulolytických enzymů. Rozpad bočních řetězců potřebuje spolupráci šesti typů enzymu [2].

### **2.5.4 Degradace pektinu**

Jelikož je pektin velkou částí primární buněčné stěny a střední lamely, přispívá k mechanické pevnosti a adhezi mezi buňkami. Struktura pektinových polysacharidů bývá pozměněna během zrání ovoce. Enzymy, které způsobují tuto degradaci, jsou hydrolytické – pektinesterasy a polygalakturonasy, nebo lytické – pektáty a pektinlyasy [2]. Pro potravinářské účely se využívají pektolytické enzymy mikrobiálního původu obsahující pektinesterasy, pektinlyasy a polygalakturonasy. Využití těchto enzymů je účinné v procesech macerace, ztekucování, lisování, zvýšení výtěžnosti barevných a aromatických látek a čiření [48].

#### **2.5.4.1 Macerace**

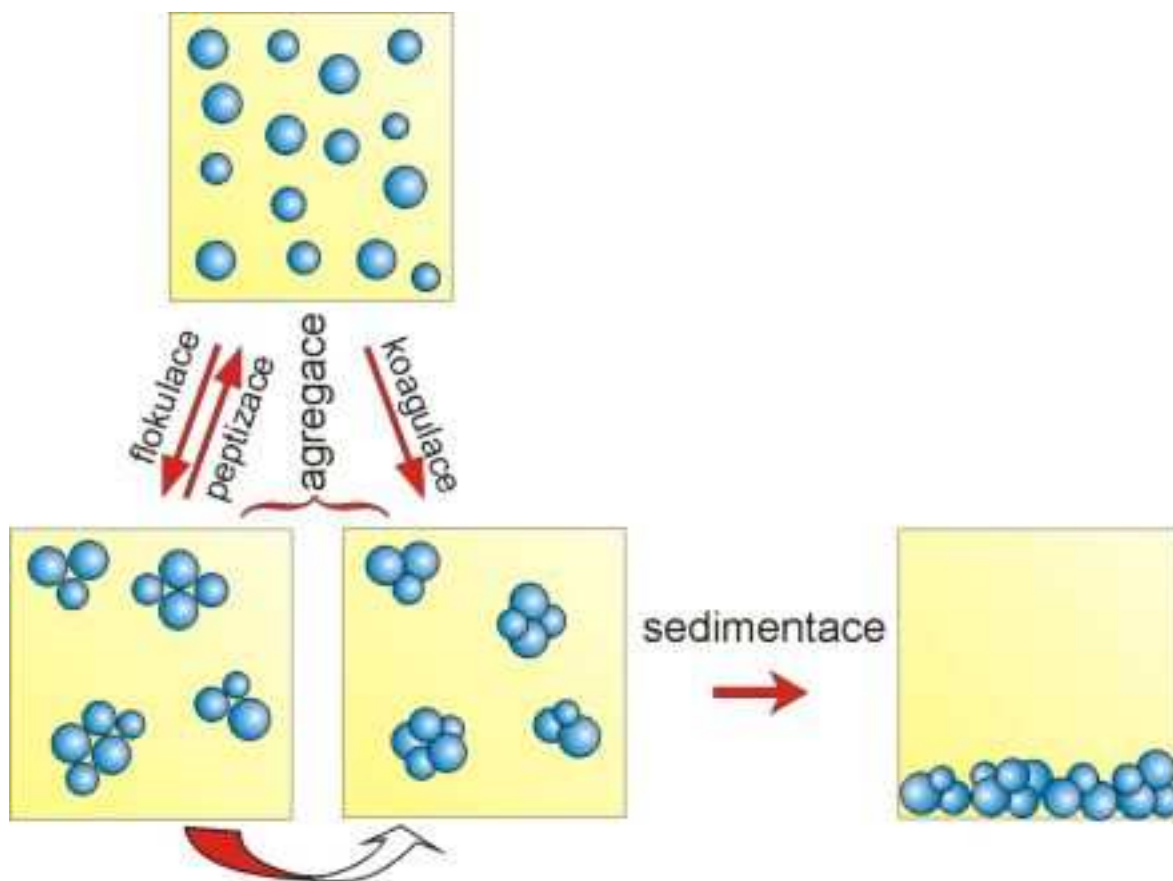
Jedná se o proces, při kterém je rostlinné pletivo transformováno na buněčnou suspenzi. Výsledný produkt pak slouží na výrobu nektarů a dětské výživy. Na pektin působí exogenní enzymy, které jsou součástí střední lamely. Produkty potom obsahují polygalakturonasu a pektinlyasu [1, 48].

#### **2.5.4.2 Ztekucování**

Ztekucování je proces, který vyvolává degradaci buněčné stěny. Uvolňují se protoplasty, které jsou vlivem osmotického tlaku destruovány. Aplikace tohoto procesu je při zpracování špatně lisovatelného ovoce, jako je mango a banán. Pro degradaci buněčné stěny musí společně účinkovat enzymy degradující jak pektin, tak celulosu [48].

### 2.5.4.3 Číření

Využívá se na surové šťávy získané lisováním, které ucpávají filtrační zařízení. Zákal tvoří proteiny a pektiny. Proteiny mají pozitivní náboj a jsou obaleny negativně nabitými pektiny. V procesu degradace pektinu dochází k odhalení pozitivního náboje, agregaci a následné flokulaci [48]. Proces je na obrázku 11.



Obrázek 11: Agregace a flokulace [47]

### 2.5.4.4 Lisování

Proces, při kterém se z rozdrčeného ovoce získává šťáva. Při drcení dochází k částečnému rozpuštění pektinu. Protože drť je tvořená tekutou a pevnou fází, která zadržuje vodu, používají se komerční enzymové preparáty, které částečně degradují buněčnou stěnu a tím zvyšují výtěžnost šťávy [48].

### 3 ZÁVĚR

V této bakalářské práci bylo cílem vypracovat literární přehled na téma pektin a ostatní polysacharidy, které jsou součástí buněčné stěny rostlin. Studie, které byly provedeny, nejsou stále dostačující k upřesnění struktury, biosyntézy i různých enzymatických degradací. Tato práce by měla sloužit jako shrnutí doposud zjištěných poznatků z vědeckých prací.

Pektin nemá jednotnou strukturu v každém ovoci či zelenině, největší rozdíly jsou v rhamnogalakturonanu II. V této části struktury polysacharidu se nachází nejvíce organických zbytků, které jsou právě tak typické pro dané plodiny. Důležité je také sledovat stadium vývoje plodu, s dozráváním ovoce se pektin rozpadá a je ho méně. Proto pro získání surové látky nejsou vhodné vyzrálé a měkké plody, ale právě naopak tvrdé a ne zcela zralé.

Nejvíce pektinu se nachází ve slupkách plodu, proto jsou pro jeho výrobu vhodné tyto odpady z průmyslového zpracování například šťáv. Klasická výroba pektinu je extrakce v kyselém prostředí a následné vysrážení v etanolu. Ideální metodu volíme podle toho, zda chceme získat LMP nebo HMP. Jeden z novějších procesů získání tohoto polysacharidu spočívá v mikrovlnném ohřívání suroviny.

Z literárního přehledu vyplývá, že pektin má význam v potravinářském průmyslu. Používá se nejčastěji jako ztužovadlo do marmelád, mléčných výrobků, ovocných výživ pro děti a podobně. Pektin má hojné využití i ve farmaceutickém průmyslu k výrobě léčiv s cíleným účinkem v trávicí soustavě. Významné je i podávání HMP při otravě těžkými kovy nebo při léčbě snižování cholesterolu.

Literární přehled byl vypracován na základě předpokládané spolupráce s firmou, která se zabývá výrobou zařízení na zpracování ovoce a zeleniny. Firma nám měla dodat vzorky na laboratorní testování, ovšem nestalo se tak. Proto celá bakalářská práce byla zpracována jen formou teoretické řešerše.

## 4 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] VELÍŠEK, Jan. *Chemie potravin I*. 1. vyd. Tábor: OSSIS, 1999, 328 s. ISBN 80-902-3912-9
- [2] RONALD, P. de Vries, MAUREEN, C., McCann, and Jaap VISSER: Modification of Plant Cell Wall Polysaccharides Using Enzymes from *Aspergillus*. *Handbook of Carbohydrate Engineering*, 2002, pp. 613 – 631.
- [3] DARBYSHIRE, B., HENDRY, G.: *New Phytol.* 87 (1981), pp. 249 – 256.
- [4] LEJEUNE, Arnaud a Thibaut DEPREZ. *Cellulose: structure and properties, derivatives and industrial uses*. Hauppauge, N.Y.: Nova Science Publishers, c2009, xviii, 528 p. ISBN 978-160-8763-887.
- [5] NEWMAN, R. H., Evidence for assignment of <sup>13</sup>C NMR signals to cellulose crystallite surfaces in wood, pulp and isolated celluloses, *Holzforschung*, 52, 157-159, 1998.
- [6] GUILLOTIN, S.: *Studies on the intra- and intermolecular distributions of substituents in commercial pectins*, PhD. Thesis Wageningen University, The Netherlands, 2005. ISBN 90-8504-265-8.
- [7] ŠUŠLA, M., SVOBODOVÁ, K.: Ligninolytické enzymy jako účinné nástroje pro biodegradaci obtížně rozložitelných organopolutantů. *Chemické listy*, 2006, ročník 100, č. 10, s. 889-895, ISSN 1213-7103, 0009-2770.
- [8] HOONDAL, G. S., TIWARI, R. P., TEWARI, R., DAHIYA, N., BEG, Q. K.: Microbial alkaline pectinases and their industrial applications: a review. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2002, No. 59, pp. 409-418.
- [9] de VRIES, R. P. and VISSER, J., *Aspergillus* enzymes involved in degradation of plant cell wall polysaccharides, *Microb. Mol. Biol. Rev.*, 65, 497–522, 2001.
- [10] BELDMAN, G., Searle-van Leeuwen, M. J. F., de Ruiter, G. A., Siliha, H. A., and Voragen, A. G. J., Degradation of arabinans by arabinases from *Aspergillus aculeatus* and *Aspergillus niger*, *Carbohydr. Polym.*, 20, 159–168, 1993.
- [11] TARCHEVSKY, I.A., and MARCHENKO, G.N. (1991). Cellulose: Biosynthesis and structure. Springer-Verlag, Berlin, Chapter 5.
- [12] WADA, Masahisa, et al. The structure of celluloses. *Powder Diffraction*, 2008, 23.02: 92-95.
- [13] Hon DNS (1996) Cellulose and its derivatives. In: Dumitriu S (ed) Polysaccharides in medicinal applications. Marcel Dekker, New York.

- [14] *International journal of molecular sciences*. Editor Jaroslav Eršil. Prague: Academia, 1996. ISSN 1422-0067.
- [15] MOON, Robert J., Ashlie MARTINI, John NAIRN, John SIMONSEN a Jeff YOUNGBLOOD. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. *Chemical Society Reviews*. 2011, vol. 40, issue 7, s. 3941-. DOI: 10.1039/c0cs00108b. Dostupné z: <http://xlink.rsc.org/?DOI=c0cs00108b>.
- [16] Randy Moore, Dennis Clark, and Darrell Vodopich, Botany Visual Resource Library, 1998 The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved, dostupné z <http://imgbuddy.com/cellulose-structure.asp>.
- [17] Azubuike and Okhamafe, *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2012,1:9, <http://www.ijrowa.com/content/1/1/9>.
- [18] NOVÁČEK, František. *Fytochemické základy botaniky*. Vyd. 2., dopl. Olomouc: Fontána, [2008], 284 s. ISBN 978-807-3364-571.
- [19] CHINIQUEY, D., V. SHARMA, A. SCHULTINK, E. E. BAIDOO, C. RAUTENGARTEN, K. CHENG, A. CARROLL, P. ULVSKOV, J. HARHOLT, J. D. KEASLING, M. PAULY, H. V. SCHELLER a P. C. RONALD. XAX1 from glycosyltransferase family 61 mediates xylosyltransfer to rice xylan. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2012-10-16, vol. 109, issue 42, s. 17117-17122. DOI: 10.1073/pnas.1202079109. Dostupné z: <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1202079109>.
- [20] *Journal of Experimental Botany*. 1989, vol. 40, issue 1. ISSN 0022-0957. Dostupné z: <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1202079109>.
- [21] OVODOV, Yu. S. Current views on pectin substances. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2009, vol. 35, issue 3, s. 269-284. DOI: 10.1134/S1068162009030017. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1134/S1068162009030017>.
- [22] BARROS, J., H. SERK, I. GRANLUND a E. PESQUET. The cell biology of lignification in higher plants. *Annals of Botany*. s. -. DOI: 10.1093/aob/mcv046. Dostupné z: <http://aob.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1093/aob/mcv046>.
- [23] OPLETAL, Lubomír. *Přírodní látky a jejich biologická aktivita*. Vyd. 1. Praha: Karolinum, 2011, 378 s. ISBN 978-802-4618-845.
- [24] SRIAMORNSAK, P. (2003). Chemistry of pectin and its pharmaceutical uses: A review. *Silpakorn University International Journal*, 3, 206–228.
- [25] Sharma BR, Naresh L, Dhuldhoya NC, Merchant SU. An overview on pectins. *Times Food Process Journal*. 2006;23(2):44–51.



- [26] BRACCINI, I., PEREZ, S. Molecular Basis of  $\text{Ca}^{2+}$ -Induced Gelation in Alginates and Pectins: The Egg-Box Model Revisited, *Biomacromolecules*, 2001, vol. 2, no. 4, p. 1089-1096.
- [27] GRANT, G.T., MORRIS, E.R., REES, D.A., SMITH, P.J.C., THOM, D. Biological interactions between polysaccharides and divalent cations: The egg-box model, *FEBS Letters*, 1973, vol. 32, no.1, p.195-198.
- [28] FU, J.-T a M.A RAO. The influence of sucrose and sorbitol on gel–sol transition of low-methoxyl pectin  $\text{Ca}^{2+}$  gels. *Food Hydrocolloids*. 1999, vol. 13, issue 5, s. 371-380. DOI: 10.1016/S0268-005X(99)00022-3. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X99000223>.
- [29] HILL, S.E., LEDWARD, D.A., MITCHELL, J.R. Functional properties of food macromolecules, 2. ed. *Aspen publishers*, 1998, ISBN: 0-7514-0421-7.
- [30] EVAGELIOU, V., RICHARDSON, R.K., MORRIS, E.R. Effect of pH, sugar type and thermal annealing on high-methoxy gels, *Carbohydrate Polymers*, 2000, vol. 42, p. 245-259.
- [31] TSOGA, A., RICHARDSON, R.K., MORRIS, E.R. Role of cosolutes in gelation of high-methoxy pectin. Part 1. Comparison of sugars and polyols, *Food Hydrocolloids*, 2004, vol. 18, p. 907-919.
- [32] MACKŮ, I., BUŇKA, F., PAVLÍNEK, V., LECIÁNOVÁ, P., HRABĚ, J. The effect of pectin concentration on viscoelastic and sensory properties of processed cheese, *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2008, vol. 43, p. 1663-1670.
- [33] MOLLEA, C, F CHIAMPO a R CONTI. Extraction and characterization of pectins from cocoa husks: A preliminary study. *Food Chemistry*. 2007-09-12, s. -. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.09.006. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814607009223>.
- [34] BERARDINI, Nicolai, Matthias KNÖDLER, Andreas SCHIEBER a Reinhold CARLE. Utilization of mango peels as a source of pectin and polyphenolics: A preliminary study. *Innovative Food Science*. 2005, vol. 6, issue 4, s. 442-452. DOI: 10.1016/j.ifset.2005.06.004. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1466856405000986>.
- [35] KRATCHANOVA, M, E PAVLOVA a I PANCHEV. The effect of microwave heating of fresh orange peels on the fruit tissue and quality of extracted pectin. *Carbohydrate Polymers*. 2004, vol. 56, issue 2, s. 181-185. DOI: 10.1016/j.carbpol.2004.01.009. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861704000542>.
- [36] VORAGEN, Alphons G. J., Gerd-Jan COENEN, René P. VERHOEF a Henk A. SCHOLS. Pectin, a versatile polysaccharide present in plant cell walls. *Structural Chemistry*. 2009, vol. 20, issue 2, s. 263-275. DOI: 10.1007/s11224-009-9442-z. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11224-009-9442-z>.

- [37] MIETTINEN, T.A., TARPILA, S. (1977) Effect of pectin on serum cholesterol, fecal bile acids and biliary lipids in normolipidemic and hyperlipidemic individuals. *Clin Chim Acta* 79: 471-477.
- [38] KOHN, R. (1982) Binding of toxic cations to pectin, its oligomeric fragments and plant tissues. *Carbohydr Polym* 2: 273-275.
- [39] ALLWYN, Sundar Raj A. A Review on Pectin: Chemistry due to General Properties of Pectin and its Pharmaceutical Uses. 2012.
- [40] Henrik Vibe Scheller. Department of plant & microbial biology, UC Berkeley. [online]. 5.6.2014 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://plantbio.berkeley.edu/profile/hscheller>.
- [41] Carbohydrates. *Scientific Psychic: expand your mind, improve your body, have fun*. [online]. 6.10.2007 [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohydrates2.html>.
- [42] WILEY-VCH. Cellulose pdf. [online]. 3.4.2007 [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: [http://www.wiley-vch.de/books/biopoly/pdf\\_v06/bpol6010\\_275\\_287.pdf](http://www.wiley-vch.de/books/biopoly/pdf_v06/bpol6010_275_287.pdf)
- [43] Introduction to Pectin – Structure. *Cyber Colloids: expand your mind, improve your body, have fun*. [online]. 12.7.2010 [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://www.cybercolloids.net/information/technical-articles/introduction-pectin-structure>.
- [44] Figure 2 schematic, obrázek ve formátu gif k dispozici online na <http://imgbuddy.com/pectin-structure.asp>.
- [45] Obrázek dostupný ve formátu jpg online na [http://www.slate.com/content/dam/slate/Homepage/tap3/2012/08/weekOf120813/thursday/TT\\_120815\\_marshmallow.jpg.CROP.rectangle3-large.jpg](http://www.slate.com/content/dam/slate/Homepage/tap3/2012/08/weekOf120813/thursday/TT_120815_marshmallow.jpg.CROP.rectangle3-large.jpg).
- [46] Obrázek dostupný ve formátu jpg online na <http://bilder.apo-rot.de/shop/xxlproducts.own/P4578262.JPG>.
- [47] Obrázek dostupný ve formátu jpg online na [http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/figures/agregace.jpg](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/figures/agregace.jpg).
- [48] *Biopolymers*. 2002. Weinheim: Wiley-VCH, 636 s. ISBN 3-527-30227-1.

## **5 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

D-Dha	deoxylyxo-heptulopyranosylaric acid
HMP	highly esterified pectin
KDO	ketodeoxymanno-octulopyranosylonic acid
LMP	low esterified pectin
RG	rhamnogalacturonan